

傾斜海浜上の波群の変形に関する理論と実験

京都大学工学部 正員 間瀬 肇
三井物産 正員○長谷川順一
川崎製鉄 坂本真也

1. まえがき

本研究は multiple scales 法によって mild slope 海浜を伝播する波群の変形式を導くとともに、水理実験によって理論の適用性を検討したものである。

2. 水位変動の理論式

ここでいう mild slope 海浜とは、水深変化が波形勾配 ε の 1 次のオーダーと仮定した海浜である。一方、 ε の 2 次のオーダーの水深変化を仮定した場合は very mild slope 海浜という。水深変化の程度に応じ mild slope あるいは very mild slope と場合分けしているが、正確には、“式の誘導に際し、水深変化の効果を何次のオーダーで取り入れるか”ということである。Mild slope の式は比較的急な海底勾配の海浜に対してだけでなく、非常に緩やかな海底勾配の海浜にも適用可能である。すなわち、海底勾配が非常に緩やかであるという影響は、式の中の水深変化に関連する項が非常に小さくなるという形で考慮できる。

Mild slope 海浜に対する 2 次のオーダーの水位変動の式は、次のように表される。

$$\eta = \frac{1}{2}(Ae^{i\psi} + *) + \left[\frac{1}{g} \frac{\partial \phi_{10}}{\partial \xi} - \frac{k}{2 \operatorname{sh} 2q} |A|^2 - \frac{1}{2\omega} \left(i \frac{\partial A}{\partial \xi} e^{i\psi} + * \right) \right. \\ \left. - \frac{1}{2 \operatorname{ch} q} \left\{ i(\alpha_1 a \operatorname{ch} q A + \frac{q \operatorname{sh} q}{k C_0} \frac{\partial A}{\partial \xi} - \frac{A q \operatorname{sh} q}{2 k C_0} \frac{\partial C_0}{\partial x} - \frac{A q \operatorname{sh}^2 q}{k \operatorname{ch} q} \frac{\partial q}{\partial x} \right. \right. \\ \left. \left. + \alpha_2 a^2 \operatorname{ch} q A \right) e^{i\psi} + * \right\} + \frac{k \operatorname{ch} q (2 \operatorname{ch}^2 q + 1)}{8 \operatorname{sh}^3 q} (A^2 e^{2i\psi} + *) \right] \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\alpha_1 = \partial h / \partial x, \quad \alpha_2 = (\partial k / \partial x) / 2k^2, \quad \psi = \int k dx - \omega t, \quad \xi = \int \frac{1}{C_0} dx - t, \quad q = kh \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 A は包絡波形、 ϕ_{10} は長周期水位変動に対する速度ポテンシャルであり、3 次のオーダーでそれらの支配方程式が求められるが、ここでは省略する。式(1)において、 A および ϕ_{10} が時間的に変化しない場合には下線部 $\dots\dots\dots$ は 0 となる。水深変化がない場合には、 $\dots\dots\dots$ は 0 となる。下線部がすべてない場合、式(1)は Stokes 波の第 2 次近似解となっている。ただし、平均水位の低下分 $k|A|^2/2\operatorname{sh} 2q$ が含まれている。

3. 一様傾斜海浜を伝播する単一波群の変形に関する実験

(a) 実験装置 実験は、長さ 27m、幅 50cm、高さ 75cm の両面ガラス張り水槽を用いて、海底勾配が 1/20 の一様傾斜海浜地形に対して行った。一様水深部の水深は 50cm とした。水位変動は、6 台の容量式波高計を用いて測定した。それらの波高計を斜面法先部から 50cm 造波板よりの水深 50cm の地点と、斜面上の水深 40, 30, 20, 10, および 5cm の地点に設置した。式(1)は、碎波以前の波の理論式であるため、波群を構成する波が碎波した場合には適用できない。実験結果と理論結果を比較する場合、波が碎波していないものを対象とするため、水深が 10cm の地点付近をビデオ撮影しておき、後に波が碎波しているかどうかを判別した。

(b) 実験方法 造波した波群は、水平床で安定な振幅が 2cm の包絡ソリトンに振幅増幅係数 1.0 と 2.0 をかけたもの、振幅が 3cm の包絡ソリトンに増幅係数 1.0, 4/3, 2/3 をかけたものを用いた。搬送波の周波数は 0.9, 1.0, 1.1, 1.2Hz の 4 種類とした。実験は全部で 20 ケースである。

Hajime MASE, Junichi HASEGAWA and Sinya SAKAMOTO

4. 実験結果と計算結果の比較・検討

図-1は搬送波の周波数が1.1Hz、初期包絡波形の振幅が3cmの実験結果である。測定点W-5になると水位変動の上下非対称性が著しくなっており、波高も増大している。その後、W-6に達する間に波高の大きな個々波が砕波し、W-6の水位変動に見られるような二つの波高のピークを持つ波群となる。図-2は、図-1に対応する計算結果を示したものである。ただし、水槽底面および側壁の粘性摩擦を考慮した結果である。波が砕波しているW-6を除いて実験結果と計算結果の対応は良好である。

横軸に最大波の沖波波形勾配 $(H_{max})_o / (L_{max})_o$ 、縦軸に水深波高比 $h / (H_{max})_o$ をとって、全実験ケースの各測定点について砕波が生じなかった場合と生じた場合を区別してプロットしたところ、規則波の砕波水深を求めるための合田の砕波限界曲線 $\llcorner (H_{max})_o$ および $(L_{max})_o$ のかわりに H_o 、 L_o を用いる) が、砕波の有無の境界をほぼ表していた。水位変動のみの実験結果と計算結果の比較では、その一致の程度の判定が主観的になるので、波群を構成する波のうち最大波について両者を比較する。図-3は横軸に水深波高比 $h / (H_{max})_o$ 、縦軸に実験値と計算値の比をプロットしたものである。波が砕波しており、実験値と計算値の比をとると0.7以下になる場合は、図中の破線より下にプロットした。数個の点が重なる場合、横線をいれて $\oplus \bullet$ としてある。砕波しているケースを除くと実験値と計算値は誤差約 $\pm 20\%$ で一致している。

5. あとがき

ここで行った1/20の一樣傾斜海浜の場合の実験条件の範囲では、砕波が生じない $h / (H_{max})_o > 2.0$ で理論式が適用できることがわかった。振幅変調している波の砕波の有無は、規則波の砕波限界曲線でほぼ表された。

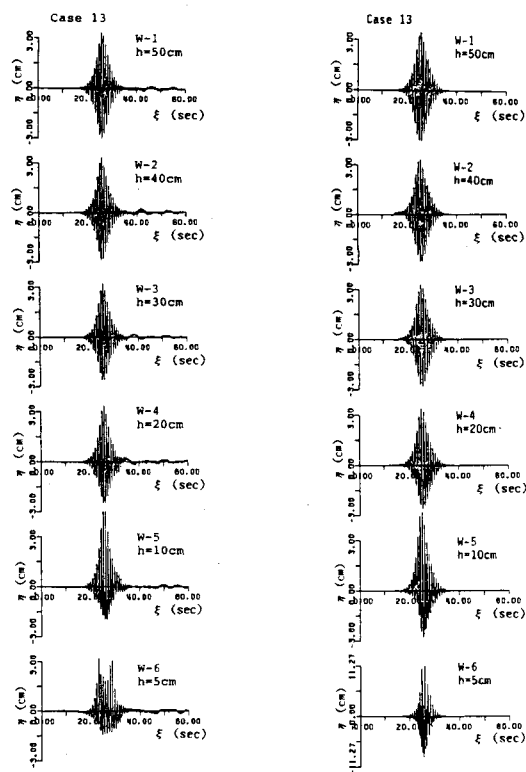


図-1 実験結果の一例

図-2 計算結果の一例

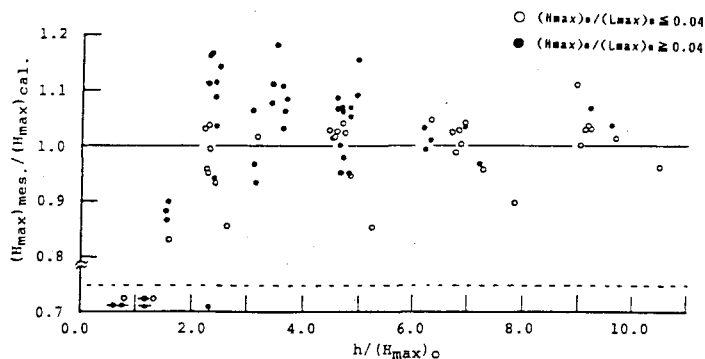


図-3 実験結果と計算結果の比較